

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-178100

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月30日

(51) Int.Cl.⁸
H 0 1 L 21/82
G 0 6 F 17/50

識別記号

F I
H 0 1 L 21/82 W
G 0 6 F 15/60 6 5 8 V
6 5 8 K
H 0 1 L 21/82 C

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平9-180940

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月7日

(31) 優先権主張番号 特願平8-274412

(32) 優先日 平8(1996)10月17日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 森脇 俊幸

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

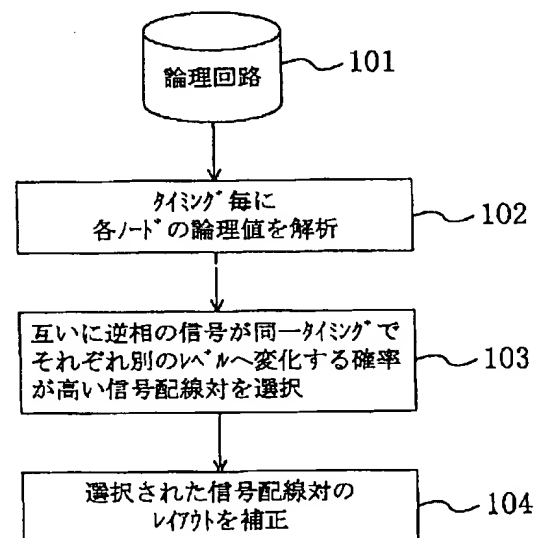
(74) 代理人 弁理士 前田 弘 (外2名)

(54) 【発明の名称】 配線レイアウト設計方法及び設計装置並びにバスのドライブ方法

(57) 【要約】

【課題】 隣接する信号配線間のカップリング容量を削減することにより、集積回路を低消費電力化、かつ高速化する。

【解決手段】 集積回路の配線レイアウト設計方法であって、論理回路101の各ノードにおける論理値を状態毎に解析する論理値解析工程102と、互いに逆相の信号が同一タイミングで各々別のレベルへ変化する確率が高い信号配線対を選択する配線選択工程103と、該選択された信号配線対において、配線間の間隔を拡げ、該間隔に他の配線を挿入し、又は一方の信号配線にデータ反転素子若しくは遅延素子を挿入することによってレイアウトを変更するレイアウト補正工程104とを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 集積回路の回路設計における配線レイアウト設計方法であって、
各ノードの論理値を各状態毎に解析する論理値解析工程と、
前記解析の結果に基づいて、信号を伝送するための第1の信号配線と該信号が反転された信号すなわち反転信号を伝送する確率が高い第2の信号配線とを選択する配線選択工程と、
前記第1及び第2の信号配線間の間隔を拡げて配置する配線配置工程とを備えたことを特徴とする配線レイアウト設計方法。

【請求項2】 集積回路の回路設計における配線レイアウト設計方法であって、
各ノードの論理値を各状態毎に解析する論理値解析工程と、
前記解析の結果に基づいて、信号を伝送するための第1の信号配線と該信号が反転された信号すなわち反転信号を伝送する確率が高い第2の信号配線とを選択する配線選択工程と、
前記第1及び第2の信号配線間に少なくとも1つの他の信号配線を配置する配線配置工程とを備えたことを特徴とする配線レイアウト設計方法。

【請求項3】 集積回路の回路設計における配線レイアウト設計方法であって、
各ノードの論理値を各状態毎に解析する論理値解析工程と、
前記解析の結果に基づいて、信号を伝送するための第1の信号配線と該信号が反転された信号すなわち反転信号を伝送する確率が高い第2の信号配線とを選択する配線選択工程と、
前記第1又は第2の信号配線のいずれかに信号反転素子を挿入する素子追加工程と、
そのいずれかに前記信号反転素子が挿入された第1及び第2の信号配線を、隣接して配置する配線配置工程とを備えたことを特徴とする配線レイアウト設計方法。

【請求項4】 請求項1、2又は3のいずれかに記載された配線レイアウト設計方法において、
前記配線選択工程は、ネットリストに基づいて論理値が“1”になる確率が高い信号配線と“0”になる確率が高い信号配線とを選択し、かつ、該選択された信号配線が各々論理的な関連を有する信号配線の中から前記第1及び第2の信号配線を選択することを特徴とする配線レイアウト設計方法。

【請求項5】 集積回路におけるバスのドライブ方法であって、
前記バスを構成する信号配線のうち、レイアウトにおいて隣接しかつ同一のタイミングで各々ドライブできる信号配線を、各々異なるタイミングでドライブすることを特徴とするバスのドライブ方法。

【請求項6】 集積回路の回路設計における自動配置配線のための配線レイアウト設計装置であって、
受け取ったネットリストに基づいて各ノードの論理値を各状態毎に解析するための論理値解析手段と、
各ノードの信号を伝送するための信号配線を仮配置するための配線仮配置手段と、
前記解析と仮配置との結果に基づいて、第1の信号配線と、該信号が反転された信号すなわち反転信号を伝送する確率が高くかつ前記第1の信号配線に隣接する第2の信号配線とを選択するための配線選択手段と、
前記第1及び第2の信号配線間の間隔を拡げて配置するための配線配置手段とを備えたことを特徴とする配線レイアウト設計装置。

【請求項7】 集積回路の回路設計における自動配置配線のための配線レイアウト設計装置であって、
受け取ったネットリストに基づいて各ノードの論理値を各状態毎に解析するための論理値解析手段と、
各ノードの信号を伝送するための信号配線を仮配置するための配線仮配置手段と、
前記解析と仮配置との結果に基づいて、第1の信号配線と、該信号が反転された信号すなわち反転信号を伝送する確率が高くかつ前記第1の信号配線に隣接する第2の信号配線とを選択するための配線選択手段と、
前記第1及び第2の信号配線間に少なくとも1つの他の信号配線を配置するための配線配置手段とを備えたことを特徴とする配線レイアウト設計装置。

【請求項8】 集積回路の回路設計における自動配置配線のための配線レイアウト設計装置であって、
受け取ったネットリストに基づいて各ノードの論理値を各状態毎に解析するための論理値解析手段と、
各ノードの信号を伝送するための信号配線を仮配置するための配線仮配置手段と、
前記解析と仮配置との結果に基づいて、第1の信号配線と、該信号が反転された信号すなわち反転信号を伝送する確率が高くかつ前記第1の信号配線に隣接する第2の信号配線とを選択するための配線選択手段と、
前記第1又は第2の信号配線の一方に信号反転素子を挿入するための素子追加工程と、
その一方に前記信号反転素子が挿入された第1及び第2の信号配線を配置するための配線配置手段とを備えたことを特徴とする配線レイアウト設計装置。

【請求項9】 請求項6、7又は8のいずれかに記載された配線レイアウト設計装置において、
前記配線選択手段は、ネットリストに基づいて論理値が“1”になる確率が高い信号配線と論理値が“0”になる確率が高い信号配線とを選択し、かつ、該選択された信号配線が各々論理的な関連を有する信号配線の中から前記第1及び第2の信号配線を選択するための機能を備えたことを特徴とする配線レイアウト設計装置。

【請求項10】 集積回路の回路設計における配線レイ

アウト設計装置であって、
信号配線と該信号配線に隣接する隣接信号配線との間の
カップリング容量による信号の遷移時間を計算するための
遷移時間計算手段と、
計算された遷移時間に基づいて、前記信号配線と隣接信号配線とを各々ドライブするタイミングを異ならせるためのタイミング変更手段とを備えたことを特徴とする配線レイアウト設計装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、集積回路を低消費電力化かつ高速化する、集積回路の配線レイアウト設計方法及び設計装置並びにバスのドライブ方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の半導体製造プロセスにおいては、それぞれ配線容量によって発生する、信号の立上り時間及び立下り時間よりなる遷移時間と消費電力とは、それぞれトランジスタのゲート容量による遷移時間と消費電力とに比較して比率的に小さく、かつ影響も少なかった。このために、レイアウト設計の際に配線容量について注意する必要性は少なかった。したがって、配線レイアウトとしては、チップ面積を小さくするために最密に配線する方法と、同層の配線間に存在するカップリング容量を減らす目的で回路面積に影響しない範囲において間隔を拡げて配線する方法とが使用されていた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、プロセス技術において微細化が進むことにより、ゲート容量に対する配線容量の比率は急激に増加している。該配線容量は、回路の動作速度を低下させ、かつ充放電によって消費電力を増大させる。配線容量のうちでも、配線ピッチの縮小、配線の断面形状の変化等に起因する、同層の配線間に存在するカップリング容量の比率が大きい。該カップリング容量の値は、配線間の距離が近いほど大きくなる。また、回路におけるドライバからみた、信号配線と該信号配線に隣接する隣接信号配線との間の見かけ上のカップリング容量は、該信号配線と隣接信号配線とによって伝送される信号が互いに逆相である場合において、同一タイミングでそれぞれの信号が他のレベルへ変化する時に最大になる。

【0004】例えば、ある信号と該信号の反転信号とを同時に出力する回路において、これら2つの信号を伝送するための互いに隣接した信号配線の配線レイアウトを、従来と同様最密に行なった場合を考える。該信号と反転信号とは常に逆相になっているため、該信号配線間における見かけ上のカップリング容量は、これらの信号が同時に変化するたびに最大になり、かつ充電又は放電される。充電されることによって、該見かけ上のカップリング容量は回路の動作速度を低下させる。また、充

放電は直接消費電力を必要とするうえに、各信号配線上の信号の変化をなまらせるので次段のゲートにおける貫通電流を増大させ、併せて全体の消費電力を増大させる。従来の別の方法である、回路面積に影響しない範囲で間隔を拡げて配線レイアウトを行なった場合には、最密に配線した場合と比較して、回路面積が増加することはあっても減少することはない。また、消費電力の増大及び動作速度の低下を防ぐ効果を予測できない。

【0005】本発明は、上記従来の問題に鑑み、回路面積の増加を抑制しつつ、消費電力を削減し、かつ高速動作を可能にする配線レイアウト設計方法及び設計装置並びにバスのドライブ方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するために本発明が講じた解決手段は、集積回路の回路設計における配線レイアウト設計方法を、各ノードの論理値を各状態毎に解析する論理値解析工程と、解析結果に基づいて、信号を伝送するための第1の信号配線と該信号の反転信号を伝送する確率が高い第2の信号配線とを選択する配線選択工程とを備え、更に、第1及び第2の信号配線間の間隔を拡げて配置する配線配置工程、第1及び第2の信号配線間に少なくとも1つの他の信号配線を配置する配線配置工程、又は第1もしくは第2の信号配線のいずれかに信号反転素子を挿入したうえで該第1及び第2の信号配線を隣接して配置する配線配置工程のうちのいずれか1つの配線配置工程とを備えた構成としたものである。

【0007】上記の構成により、互いに逆相である信号が伝送される確率が高い2本の信号配線に対して、該信号配線間のカップリング容量が低減された、又は互いに同相である信号が伝送される確率が高い、2本の信号配線が実現される。

【0008】

【発明の実施の形態】隣接する2本の信号配線a、b間の配線間容量について説明する。該信号配線a、b間の実際の配線間容量Cは、平行平板間の容量と同様に、配線間の間隔が広ければ小さく、狭ければ大きい。一方、信号配線a、bを有するドライバからみた見かけ上のカップリング容量は、片方の信号配線（例えば信号配線a）に対する隣接信号配線（例えば信号配線b）を流れる信号の変化に応じて変わる。信号の変化と見かけ上のカップリング容量との関係を、図1を参照して説明する。図1は、同一タイミングにおける信号の変化と見かけ上のカップリング容量との関係を示す説明図である。互いに同相である2つの信号があるタイミング後も互いに同相であるモードM1（例えば信号配線a及びbの信号がいずれも“0”から“1”へ変化する場合）、及び逆相である2つの信号があるタイミング後も同一の逆相を維持するモードM2（例えば信号配線a及びbの信号がそれぞれ“0”及び“1”からその状態を維持する場

合)を考える。該モードM1及びM2において、信号配線aからみた信号配線bとの間の見かけ上のカップリング容量 C_{a-b} と、信号配線bからみた信号配線aとの間の見かけ上のカップリング容量 C_{b-a} とは、いずれも0となる。2つの信号が互いに同相からあるタイミング後に逆相へ、又は互いに逆相からあるタイミング後に同相へ変化するモードM3(例えば信号配線aの信号が“0”のまま変化せず、かつ信号配線bの信号が“0”から“1”へ変化する場合)においては、見かけ上のカップリング容量 C_{a-b} 及び C_{b-a} はいずれもCとなる。2つの信号の組合せが第1の逆相から第2の逆相へ、又は第2の逆相から第1の逆相へ変化するモードM4(例えば信号配線aの信号が“0”から“1”へ、かつ信号配線bの信号が“1”から“0”へ変化する場合)においては、見かけ上のカップリング容量 C_{a-b} 及び C_{b-a} は、いずれも2Cとなる。したがって、隣接する信号配線同士における、それぞれが有する信号である互いに逆相の信号が同一タイミングでそれぞれ別のレベルへ変化する場合において、見かけ上のカップリング容量が最大になる。

【0009】(第1の実施形態)本発明の第1の実施形態に係る配線レイアウト設計方法及び設計装置について、図面を参照して説明する。図2は、本発明に係る配線レイアウト設計方法の概略を示すフローチャート図である。図2において、論理回路101は、設計対象となる回路である。論理値解析工程102は、該論理回路101の各ノードにおける論理値を状態毎に解析する解析工程である。配線選択工程103は、該解析結果に基づいて、それぞれが有する信号である互いに逆相の信号が同一タイミングでそれぞれ別のレベルへ変化する確率が高い信号配線対を選択する選択工程である。レイアウト補正工程104は、該選択された信号配線対の少なくとも一方のレイアウトを補正する補正工程である。

【0010】図2の配線レイアウト設計方法を、図3を参照して具体的に説明する。図3は、論理値を解析した結果である、各ノードにおける状態毎の信号を示すタイミングチャート図である。以下、タイミング t_1 から t_3 への変化を対象に説明する。論理値解析工程102は、論理回路101の各ノードにおける、状態毎の論理値を解析し、かつタイミング毎の信号変化を抽出する。配線選択工程103は、それぞれが有する信号である互いに逆相の信号が同一タイミングでそれぞれ別のレベルへ変化する確率が高い信号配線対を選択する。ノード番号2及び5の場合には、タイミング t_1 、 t_2 、 t_3 よりなる3回のタイミングのうち3回とも、互いに逆相である2つの信号がそれぞれ別のレベルへ変化しており、変化する確率は100%である。ノード番号1及び3の場合には、3回のうちタイミング t_1 と t_3 との2回において、互いに逆相である2つの信号がそれぞれ別のレベルへ変化しており、確率は67%である。ここで、そ

れぞれが有する互いに逆相の信号が同一タイミングでそれぞれ別のレベルへ変化する確率が50%以上の信号配線対を、レイアウト補正対象とする。この場合には、ノード番号2と5との信号配線対、及びノード番号1と3との信号配線対が選択される。レイアウト補正工程104は、該選択された信号配線対に対して、配線間の間隔を拡げてレイアウトを補正する。

【0011】以上の説明において、レイアウト補正対象となる信号配線対を選択する際の基準となる確率は、回路の動作速度及び消費電力と、回路面積との関係によって決定される。すなわち、該関係はトレードオフの関係にあって、確率が低い信号配線対までもレイアウト補正対象にすれば、信号の遷移時間及び消費電力を削減できるが回路面積は増大する。したがって、該トレードオフの関係を考慮して、基準となる確率を予め設定する。また、選択した信号配線対の拡げられた間隔の値も、回路の動作速度及び消費電力と、回路面積とのトレードオフの関係によって同様に決定される。

【0012】図4は、本発明に係る配線レイアウト設計装置の概略を示す構成図である。図4において、レイアウト合成手段201は、受け取ったネットリストNLISTに基づいてレイアウトを合成し、かつ、仮レイアウトデータLTEMPを供給するための仮レイアウト手段である。レイアウト解析手段202は、受け取った仮レイアウトデータLTEMPに基づいて、レイアウト上におけるノードについて解析するための解析手段である。論理値解析手段203は、それぞれ受け取ったネットリストNLISTとテストベクタTVCTRとに基づいて、該テストベクタTVCTRを用いてネットリストNLIST中の各ノードの論理値を解析するための解析手段である。配線選択手段204は、レイアウト解析手段202と論理値解析手段203とからそれぞれ受け取った解析結果に基づいて、信号配線対を選択するための選択手段である。該配線選択手段204は、更に、該選択された信号配線対に基づいてレイアウト補正情報LCRCTを供給する。レイアウト補正手段205は、それぞれ受け取った仮レイアウトデータLTEMPとレイアウト補正情報LCRCTとに基づいて、該選択された信号配線対の間隔を拡げることによって配線レイアウトを部分的に変更するためのレイアウト補正手段である。また、レイアウト補正手段205は、該変更された配線レイアウトを表わすための最終レイアウトデータLOUTDを供給する。

【0013】図4の配線レイアウト設計装置の動作を説明する。レイアウト合成手段201は、設計対象となる論理回路の接続情報を記述したネットリストNLISTを受け取り、該ネットリストNLISTに基づき自動配置配線によってレイアウトを合成し、かつ仮レイアウトデータLTEMPを供給する。レイアウト解析手段202は、仮レイアウトデータLTEMPに基づいて、隣接

して配線されているノード同士を見出す解析を行なう。この場合には、隣接する部分が短い配線についてはその影響が少ないことから、該配線の処理を省く目的で、隣接する部分の長さが所定の値以上の配線についてのみ解析する。論理値解析手段203は、テストベクタTVCTRを用いて、ネットリストNLIST中の各ノードの論理値を状態毎に解析する。更に、ある状態から別の状態へ変わった場合にそれぞれのノードがどう変化したかについて、図3に示されたような、各ノードにおけるタイミング毎の信号変化の情報を抽出する。配線選択手段204は、レイアウト解析手段202と論理値解析手段203とからそれぞれ解析結果を受け取り、該解析結果に基づき、隣接する配線同士であって、それぞれが有する信号である互いに逆相の信号が同一タイミングでそれぞれ別のレベルへ変化する確率が高い信号配線対を選択する。該選択を行なう基準として、確率の下限値が予め設定されている。該下限値が50%に設定された場合には、図3に示された論理値解析結果を例にとると、ノード番号2と5との信号配線対（確率100%）、及びノード番号1と3との信号配線対（確率67%）を選択する。更に、配線選択手段204は、該選択されたノードの情報よりなるレイアウト補正情報LCRCTを供給する。レイアウト補正手段205は、受け取ったレイアウト補正情報LCRCTに基づいて、受け取った仮レイアウトデータLTEMPにおいて対応するレイアウト箇所を検索する。更に、該検索された箇所のレイアウトを信号配線対の間隔を拡げて修正したうえで、対応する最終レイアウトデータLOUTDを供給する。拡げる間隔の値は、予めレイアウト補正情報LCRCTとして与えられる。該間隔の値は、その拡げられた部分に少なくとも1本の他の信号配線を配置できる値に設定してもよい。この場合には、配線間隔は最密にレイアウトしたときの2倍になる。

【0014】以上説明したように、本実施形態によれば、回路の動作速度及び消費電力に大きく影響する信号配線対を選択して、該信号配線対の間隔を拡げる。このことにより、回路面積の増大を抑制しつつ信号配線対のカップリング容量を削減するので、回路の高速化及び低消費電力化ができる。

【0015】なお、上述の説明においては、信号配線対の選択においてテストベクタを用いたが、これに代えてネットリストを用いることもできる。すなわち、ネットリストから、論理値が“1”になる確率が高い信号配線と“0”になる確率が高い信号配線とを論理的に選択し、該選択された信号配線がそれぞれ論理的な関連を有する信号配線の中から信号配線対を選択する。例えばNOR回路においては、各入力レベルがそれぞれ変化した場合において、同一タイミングで出力が該変化の逆の変化をする確率が高い。このことから、レベルが変化した入力と該入力に対応する出力とがそれぞれ論理的な関

連を有する信号配線の中から、信号配線対を選択する。

【0016】（第2の実施形態）本発明の第2の実施形態に係る配線レイアウト設計方法及び設計装置について、図面を参照して説明する。図2は、本発明に係る配線レイアウト設計方法の概略を示すフローチャート図である。図2において、論理回路101、論理値解析工程102及び配線選択工程103は、第1の実施形態と同一なので説明を省略する。レイアウト補正工程104は、該選択された信号配線対の間に少なくとも1本の他の信号配線を配置する補正工程である。図3の例における信号配線対の選択と、該選択の基準となる確率の決定については、第1の実施形態と同様である。

【0017】図4は、本発明に係る配線レイアウト設計装置の概略を示す構成図である。図4において、レイアウト補正手段205以外の手段は、第1の実施形態と同一なので説明を省略する。レイアウト補正手段205は、それぞれ受け取った仮レイアウトデータLTEMPとレイアウト補正情報LCRCTとに基づいて、選択された信号配線対の間隔を拡げ、かつその間に他の配線を配置することによって配線レイアウトを部分的に変更するためのレイアウト補正手段である。また、レイアウト補正手段205は、該変更された配線レイアウトを表わすための最終レイアウトデータLOUTDを供給する。

【0018】図4の配線レイアウト設計装置の、本実施形態に特有の動作を説明する。配線選択手段204は、第1の実施形態と同様の動作に加えて、選択された信号配線対によってそれぞれ伝送される信号が逆相へ変化するタイミングにおいて、別のレベルへ変化する確率が低い信号を有する他の信号配線を選択する。レイアウト補正手段205は、受け取ったレイアウト補正情報LCRCTに基づいて、受け取った仮レイアウトデータLTEMPにおいて対応するレイアウト箇所を検索する。更に、該検索された箇所において信号配線対の間隔を拡げ、かつ、該拡げられた領域に配線選択手段204によって選択された他の信号配線を配置する。更にレイアウト補正手段205は、該他の信号配線が配置された後の配線レイアウトに対応する最終レイアウトデータLOUTDを供給する。

【0019】最終レイアウトの例として、図3に示された各ノードに対する最終レイアウトを説明する。ノード番号2と5とをそれぞれ有する信号配線対の間隔を拡げて、該拡げられた領域にノード番号1を有する信号配線を配置する。この場合には、ノード番号1と3とをそれぞれ有する信号配線対の間に他の信号配線が配置されるので、該信号配線対についての補正も同時になされたことになる。その結果、配線選択手段204によって選択された2つの信号配線対が、同時に補正される。

【0020】本実施形態の効果を、図5(a)及び(b)を参照して説明する。図5(a)及び(b)は、それぞれレイアウト補正前及び補正後のレイアウトを示

すレイアウト図である。図5(a)及び(b)において、論理ゲート301は、信号配線303と304とを介して、信号xと該信号xの反転信号nxとをそれぞれ出力するための論理回路である。論理ゲート302は、信号配線305を介して信号yを出力するための論理回路である。信号yは、信号x及びnxとはそれぞれ独立している。図5(a)において、カップリング容量 C_{x-nx} 及び C_{nx-y} は、それぞれ信号配線303と304との間及び信号配線304と305との間の見かけ上のカップリング容量である。図5(b)において、カップリング容量 C_{x-y} 及び C_{y-nx} は、それぞれ信号配線303と305との間及び信号配線305と304との間の見かけ上のカップリング容量である。信号xが変化する場合には、ほぼ同時に信号nxも変化する。このため、図5(a)に示される補正前のレイアウトによれば、隣接する配線303と304との間において、信号xが変化するタイミングに常に対応して、互いに逆相である信号がそれぞれ別のレベルへ変化する。この変化は、図1のモードM4に相当し、配線のドライバ、すなわち論理ゲート301からみた配線間のカップリング容量が最大になる信号変化のモードである。一方、図5(b)に示される補正後のレイアウトにおいては、信号x及びnxとはそれぞれ独立している信号yを伝送するための配線305が、配線303と304との間に配置される。このことにより信号xとnxとが隣接しないので、隣接する配線によって伝送される2つの信号が、互いに逆相であってかつ同一タイミングにおいてそれぞれ別のレベルへ変化する2つの信号である確率が低くなる。

【0021】本実施形態の効果を、カップリング容量を比較する観点から、図6を参照して説明する。図6は、図5(a)のレイアウトを図5(b)に補正した場合の、信号の変化と見かけ上のカップリング容量との関係を示す説明図である。図6において、信号x、nx及びyの組合せは、「信号の変化」の欄に示された4種類である。それぞれの組合せについて、隣接する配線同士における変化のモードと、該モードに対応する見かけ上のカップリング容量を示す。例えば、図6の1番上に示された信号の変化の組合せである、信号xが“0”から“1”へ、信号nxが“1”から“0”へ、信号yが“0”から“1”へそれぞれ変化する場合を考える。図1を用いて説明したように、信号xと信号nxとの間及び信号nxと信号yとの間の変化のモードはいずれもモードM4であり、カップリング容量 C_{x-nx} 及び C_{nx-y} はいずれも2Cになる。したがって、信号配線304に関するカップリング容量は、それぞれを加算した値である4Cになる。一方、補正後のレイアウトにおいては、隣接する信号である信号xとyとの間及び信号yとnxとの間の変化のモードは、それぞれモードM2及びM4であり、カップリング容量 C_{x-y} は0、 C_{y-nx} は2Cになる。したがって、信号配線305に関するカップリング

容量は、それぞれを加算した値である2Cになる。以下、同様に考えると、図6に示されたレイアウト補正前及び補正後における見かけ上のカップリング容量が得られる。

【0022】回路の動作速度についての、本実施形態による効果を説明する。図6において、レイアウト補正前の信号配線303及び305に関するカップリング容量の最大値はいずれも2Cであり、信号配線304に関するカップリング容量の最大値は4Cである。一方、レイアウト補正後においては、信号配線303、304及び305に関するカップリング容量の最大値はいずれも2Cである。したがって、信号nxを伝送している信号配線304について、レイアウト補正前後のカップリング容量の最大値を比較した場合、該最大値は4Cから2Cへと1/2に削減される。また、補正後の他の信号配線についても、カップリング容量の最大値が2Cに抑えられる。これらのことから、レイアウト補正によってカップリング容量を減少させて、回路の動作速度を向上させる。

【0023】回路の消費電力についての、本実施形態による効果を説明する。図6において、レイアウト補正前における各変化のモードに対応するカップリング容量の合計値は、10Cである。一方、レイアウト補正後における該合計値は、8Cである。各変化のモードの発生率が同じと考えると、カップリング容量は全体として20%削減されたことになる。したがって、レイアウト補正によって、充放電されるべき電荷量を平均的に減少させて、このことにより回路動作時の消費電力を削減する。

【0024】以上説明したように、本実施形態によれば、回路の動作速度及び消費電力に対する影響が大きい信号配線対を選択して、該信号配線間の間に該影響が小さい他の信号配線を配置する。このことにより、回路面積を増大させずに信号配線間のカップリング容量を削減するので、回路の高速化及び低消費電力化ができる。

【0025】また、これまでの説明においては、回路の動作速度及び消費電力に対する影響が大きい信号配線対の間に、該影響が小さい他の信号配線を配置した。該信号配線対に代えて、いずれも信号及び該信号の反転信号よりなる信号配線対である、2組の信号配線対を対象としてもよい。この場合の効果を、図7(a)及び(b)を参照して説明する。図7(a)及び(b)は、それぞれレイアウト補正前及び補正後のレイアウトを示すレイアウト図である。論理ゲート401は信号xと該信号xの反転信号nxとを、論理ゲート402は信号yと該信号yの反転信号nyとをそれぞれ出力するための論理回路である。信号y及びnyと、信号x及びnxとは互いに独立している。図7(a)に示された配線レイアウトを図7(b)へ変更することによって、図1のモードM4に相当するカップリング容量 C_{x-nx} 及び C_{y-ny} を、より小さいカップリング容量である C_{x-y} 及び C_{nx-ny} へ

削減できる。

【0026】なお、上述の第1及び第2の実施形態においては、カップリング容量に対して最も大きい影響を有する信号配線対である、隣接する配線同士であって、それぞれが有する信号である互いに逆相の信号が同一タイミングにおいてそれぞれ別のレベルへ変化する確率が高い信号配線対を選択した。これに限らず、見かけ上のカップリング容量が0である場合以外、すなわち図1におけるモードM1及びM2以外については全てレイアウト補正対象とすることによって、より回路を高速化かつ低消費電力化できるレイアウトを設計できる。

【0027】また、消費電力の削減には重点を置かずに、回路面積をできるだけ小さく維持し、かつ動作速度を向上させたい場合には、動作速度にとってクリティカルパスとなる信号配線のノードのみをレイアウト補正情報として与えてもよい。該信号配線とその隣接信号配線との間隔のみを拉げて配置することによって、又は該信号配線に隣接させてカップリング容量への影響が少ない他の配線を配置することによって、回路面積をできるだけ小さく維持して回路を高速化できる。

【0028】(第3の実施形態)本発明の第3の実施形態に係る配線レイアウト設計方法及び設計装置について、図面を参照して説明する。図2は、本発明に係る配線レイアウト設計方法の概略を示すフローチャート図である。図2において、論理回路101、論理値解析工程102及び配線選択工程103は、第1の実施形態と同一なので説明を省略する。レイアウト補正工程104は、該選択された信号配線対の一方にデータ反転素子を追加して配置する補正工程である。図3に示された例における信号配線対の選択と、該選択の基準となる確率の決定については、第1の実施形態と同様である。

【0029】図4は、本発明に係る配線レイアウト設計装置の概略を示す構成図である。図4において、レイアウト補正手段205以外の手段は、第1の実施形態と同一なので説明を省略する。レイアウト補正手段205は、それぞれ受け取った仮レイアウトデータLTEMPとレイアウト補正情報LCRCTとに基づいて、選択された信号配線対の一方にデータ反転素子を追加して配置することによって配線レイアウトを部分的に変更するためのレイアウト補正手段である。また、レイアウト補正手段205は、該変更された配線レイアウトを表わすための最終レイアウトデータLOUTDを供給する。

【0030】図4の配線レイアウト設計装置の、本実施形態に特有の動作を説明する。レイアウト補正手段205は、受け取ったレイアウト補正情報LCRCTに基づいて、受け取った仮レイアウトデータLTEMPにおいて対応するレイアウト箇所を検索し、該検索された箇所において、選択された信号配線対の一方のドライバである論理ゲートの直後にデータ反転素子を挿入する。更にレイアウト補正手段205は、該データ反転素子が挿入

された後の配線レイアウトに対応する最終レイアウトデータLOUTDを供給する。

【0031】最終レイアウトの例として、図3に示された各ノードに対する最終レイアウトを説明する。ノード番号5と1とをそれぞれ有する信号配線において、それぞれのドライバの出力の直後にデータ反転素子を挿入する。このことにより、ノード番号2と5とを有する信号配線対、及びノード番号1と3とを有する信号配線対においては、いずれも信号は常に同相になるので、逆相であるそれぞれの信号がタイミング t_1 、 t_2 、 t_3 においてそれぞれ別のレベルへ変化する確率が0%になる。

【0032】本実施形態の効果を、図8(a)を参照して説明する。図8(a)は、それぞれレイアウト補正前及び補正後の信号を示すタイミングチャート図である。図8(a)において、信号xとyとは、互いに逆相であって同一タイミングでそれぞれ別のレベルへ変化する信号であり、それぞれドライバである論理ゲートから出力され、かつ隣接する信号配線によって伝送される信号である。信号nyは、データ反転素子によって信号yが反転された信号である。信号x及びyの組合せは、図1のモードM4に相当するので、配線間に存在する見かけ上のカップリング容量が最も大きな信号の組合せである。該カップリング容量が存在する場合における、信号yの立下り時間 t_{fl} について考える。データ反転素子を挿入した後において、信号x及びnyの組合せは図1のモードM1に相当するので、該データ反転素子の出力以降の配線間に存在する見かけ上のカップリング容量は0である。したがって、隣接する信号配線間全体において見かけ上のカップリング容量が減少するので、信号nyの立下り時間は信号yの立下り時間 t_{fl} よりも小さくなる。上述の信号yの立下り時間 t_{fl} についての説明は、信号yの立下り時間に対しても同様に適用できることはいうまでもない。

【0033】本実施形態の効果を、回路図においてカップリング容量を比較する観点から、図9(a)及び(b)を参照して説明する。図9(a)及び(b)は、それぞれレイアウト補正前及び補正後の、信号x及びyを伝送するための回路を示す回路図である。図9(a)においては、隣接する配線間のすべての部分で、破線で示された見かけ上のカップリング容量が存在する。図9(b)において、データ反転素子501は、論理ゲートの直後に挿入された、受け取った信号を反転して出力するための回路素子である。上述のように、該データ反転素子501の出力以降の配線間に存在する見かけ上のカップリング容量は0になるので、図9(a)においてカッコ内に示されたカップリング容量が除去されたことになる。したがって、信号x及びyを伝送するための配線間のカップリング容量は、データ反転素子501の入力までの部分にのみ存在するので、該データ反転素子501の挿入によってカップリング容量は大幅に削減され

る。

【0034】以上説明したように、本実施形態によれば、回路の動作速度及び消費電力に対する影響が大きい信号配線対を選択して、該選択された信号配線の一方にデータ反転素子を挿入する。このことにより、隣接する信号配線間の信号が同相になる確率を高くしてカップリング容量を削減するので、回路の高速化及び低消費電力化ができる。

【0035】（第4の実施形態）集積回路におけるバスに代表される信号配線においては、例えばクロックの立上りのような同一のタイミングに合わせて、レイアウトにおいて隣接する数本から数十本の信号配線が同時にドライブされることが多い。本発明の第4の実施形態に係るバスのドライブ方法は、このようなバスをドライブする方法である。

【0036】本発明の第4の実施形態に係るバスのドライブ方法について、図8（b）を参照して説明する。図8（b）は、それぞれドライブ方法変更前及び変更後の信号を示すタイミングチャート図である。図8（b）において、信号xとyとは、互いに逆相であって同一タイミングでそれぞれ別のレベルへ変化する信号であり、それぞれドライブである論理ゲートから出力され、かつ隣接する信号配線によって伝送される信号である。本実施形態に係るバスのドライブ方法は、まず、信号xと同一タイミングで出力されるべき信号yを遅延時間Tだけ遅延させて、遅延された信号dyを出力する。次に、信号xと該遅延された信号dyとを使用して、バスをドライブする。本実施形態のバスのドライブ方法の効果を、図8（b）を参照して説明する。信号x及びyの組合せは、カップリング容量がピーク値をとるタイミングである信号xの立上りにおいては図1のモードM4に相当するので、配線間に存在する見かけ上のカップリング容量は2C、すなわち最も大きな値をとる信号の組合せである。該カップリング容量が最も大きな値をとる場合における、信号yの立下り時間t_{f1}について考える。バスのドライブ方法を変更後、すなわち信号yが遅延された後における、信号x及びdyの組合せは、カップリング容量がピーク値をとるタイミングである信号xの立上りにおいては図1のモードM3に相当するので、配線間に存在する見かけ上のカップリング容量がCをとる信号の組合せとなる。したがって、ピーク値をとるタイミングにおける見かけ上のカップリング容量が減少するので、信号dyの立下り時間t_{f2}は信号yの立下り時間t_{f1}よりも小さくなる。上述の信号yの立下り時間t_{f1}についての説明は、信号yの立上り時間に対しても同様に適用できることはいうまでもない。

【0037】本実施形態のバスのドライブ方法の効果を、回路図においてカップリング容量を比較する観点から、図9（a）及び（c）を参照して説明する。図9

（a）及び（c）は、それぞれドライブ方法変更前及び

変更後の、信号x及びyを伝送するための回路を示す回路図である。図9（a）においては、隣接する配線間のすべての部分で、破線で示された見かけ上のカップリング容量が存在する。図9（c）において、遅延素子502は、論理ゲートの直後に挿入された、受け取った信号を遅延して出力するための回路素子である。上述のように、カップリング容量がピーク値をとるタイミングである信号xの立上りにおいては、遅延素子502の出力以降の配線間に存在する見かけ上のカップリング容量は、該遅延素子502を挿入しない場合、すなわち図9（a）においてカッコ内に示されたカップリング容量と比較して、1/2に削減される。

【0038】以上説明したように、本実施形態によれば、同一のタイミングでドライブできるバスを、遅延素子502によってそれぞれタイミングをずらしてドライブする。このことにより、信号配線間のカップリング容量のピーク値を削減するので、充放電及び貫通電流を削減して回路を低消費電力化できる。

【0039】なお、上述の説明においては2本の信号配線について説明したが、信号配線の本数は3以上でもよいことはいうまでもない。また、3本以上の信号配線が隣接して配置されている場合には、すべての信号を遅延させるのではなく、1本おきに遅延させてもよい。このことによって、すべての隣接する信号配線同士を異なるタイミングでドライブできるので、使用する遅延素子の数を削減できる。

【0040】（第5の実施形態）本発明の第5の実施形態に係る配線レイアウト設計装置について、図10を参照して説明する。図10は、本発明に係る配線レイアウト設計装置の概略を示す構成図である。図10において、レイアウト合成手段601は、受け取ったネットリストNLISTに基づいてレイアウトを合成し、かつ、仮レイアウトデータLTEMPを供給するための仮レイアウト手段である。レイアウト解析手段602は、受け取った仮レイアウトデータLTEMPに基づいて、レイアウト上におけるノードについて解析し、かつ信号配線と隣接信号配線との間にカップリング容量を生じる部分を抽出するための解析手段である。遷移時間計算手段603は、レイアウト解析手段602から受け取った抽出結果に基づいて、配線間のカップリング容量に起因する信号の遷移時間を計算し、かつ、該計算された遷移時間に基づいて得られたレイアウト補正情報LCRCTを供給するための計算手段である。レイアウト補正手段604は、それぞれ受け取った仮レイアウトデータLTEMPとレイアウト補正情報LCRCTとに基づいて、配線レイアウトを部分的に変更するためのレイアウト補正手段である。また、レイアウト補正手段604は、該変更された配線レイアウトを表わすための最終レイアウトデータLOUTDを供給する。

【0041】図10の配線レイアウト装置の動作を、図

8(b)を参照して説明する。図8(b)は、それぞれレイアウト補正前及び補正後の信号を示すタイミングチャート図である。レイアウト合成手段601は、設計対象となる論理回路の接続情報を記述したネットリストNLISTを受け取り、該ネットリストNLISTに基づき自動配置配線によってレイアウトを合成し、かつ仮レイアウトデータLTEMPを供給する。レイアウト解析手段602は、仮レイアウトデータLTEMPに基づいて、各ノードを有する信号配線について、それぞれ隣接信号配線との間のカップリング容量を抽出する。

【0042】以下、遷移時間計算手段603の動作を説明する。まず、該抽出結果に基づいて、各ノードについて配線間のカップリング容量に起因する、信号の立下り時間 t_{f1} をそれぞれ計算する。次に、対象となるノードを持つ信号配線が有する隣接信号配線へ、ある一定の遅延時間 T を有する遅延素子が挿入された場合の信号の立下り時間 t_{f2} を計算する。この場合には、遅延素子の挿入によって信号の立下り時間は減少するので、 $t_{f2} < t_{f1}$ となる。更に、該計算された立下り時間同士の差($t_{f1} - t_{f2}$)を算出して遅延時間 T との大小を比較する。 $t_{f1} - t_{f2} > T$ 、すなわち $t_{f1} > T + t_{f2}$ の場合には、遅延素子の挿入によって回路全体の応答時間を減少できると判断する。かつ、遅延素子を挿入するための情報として、該遅延素子を挿入すべき信号配線が有するノード番号よりなるレイアウト補正情報LCRCTを供給する。一方、 $t_{f1} - t_{f2} \leq T$ 、すなわち $t_{f1} \leq T + t_{f2}$ の場合には、遅延素子を挿入しても回路全体の応答時間を減少できないと判断して、レイアウト補正情報LCRCTを供給しない。

【0043】レイアウト補正手段604は、受け取ったレイアウト補正情報LCRCTから得られるノード番号に基づいて、仮レイアウトデータLTEMPの該ノードを有する信号配線を検索する。更に、レイアウト補正手段604は、該検索された信号配線へ遅延素子を挿入するようにレイアウトを補正し、該遅延素子が挿入された後の配線レイアウトに対応する最終レイアウトLOUTDを供給する。

【0044】また、回路の高速化できるかどうかに関係なく低消費電力化したい場合には、遷移時間計算手段603によって立下り時間同士の差($t_{f1} - t_{f2}$)と遅延時間 T との大小を比較して判断する処理を省略して、遅延素子を挿入するようにレイアウト補正手段604によってレイアウトを補正すればよい。

【0045】以上説明したように、本実施形態によれば、カップリング容量に起因する信号の遷移時間と、遅延素子が挿入された後の回路全体の応答時間とを比較して、その小さい方を選択する。この場合には、回路を高速化できる。また、該遷移時間と応答時間とを比較せずに、挿入された遅延素子によって信号配線間のタイミングをそれぞれずらせてドライブする。この場合には、信

号配線間のカップリング容量のピーク値を削減するので、充放電及び貫通電流を削減して回路を低消費電力化できる。

【0046】なお、これまで説明した各実施形態において、信号配線を出力する回路は論理ゲートに限らず、フリップフロップ、バストラジスタゲート等でもよく、論理セル、フリップフロップセル、バストラジスタゲートセル等でもよい。

【0047】

10 【発明の効果】以上説明してきたように、本発明によれば、回路の動作速度及び消費電力に対して影響を有する信号配線対について、間隔又は配置を変更することによって該影響を有する信号配線間のカップリング容量を削減するので、回路面積の増加を抑制しつつ回路を高速化かつ低消費電力化できる。また、回路の動作速度及び消費電力に対して影響を有する信号配線対の一方にデータ反転素子を挿入することによって、該影響を有する信号配線間のカップリング容量を削減するので、回路を高速化かつ低消費電力化できる。また、同時にドライブできる信号配線をずらせたタイミングでドライブすることによって、該信号配線間のカップリング容量のピーク値を削減するので、回路を低消費電力化できる。また、信号配線と隣接信号配線との間のカップリング容量に起因する信号の遷移時間を算出して、該算出した遷移時間に基づき該信号配線と隣接信号配線とがそれぞれ伝送する信号を異なるタイミングでドライブすることによって、該カップリング容量のピーク値を削減するので、回路を低消費電力化できる。

【図面の簡単な説明】

30 【図1】信号の変化と見かけ上のカップリング容量との関係を示す説明図である。

【図2】本発明の第1、第2又は第3の実施形態に係る配線レイアウト設計方法の概略を示すフローチャート図である。

【図3】配線の各ノードにおける状態毎の信号を示すタイミングチャート図である。

【図4】本発明の第1、第2又は第3の実施形態に係る配線レイアウト設計装置の概略を示す構成図である。

40 【図5】(a)及び(b)は、本発明の第2の実施形態に係る配線レイアウト設計方法又は設計装置による、補正前及び補正後のレイアウトを各々示すレイアウト図である。

【図6】図5(a)のレイアウトを(b)に補正した際の、補正前及び補正後における信号の変化と見かけ上のカップリング容量との関係を各々示す説明図である。

【図7】(a)及び(b)は、本発明の第2の実施形態に係る配線レイアウト設計方法又は設計装置の変形例による、補正前及び補正後のレイアウトを各々示すレイアウト図である。

50 【図8】(a)は、本発明の第3の実施形態に係る配線

レイアウト設計方法又は設計装置によるレイアウト補正前及び補正後の信号を示すタイミングチャート図である。(b)は、本発明の第4の実施形態に係るバスのドライブ方法によるドライブ方法変更前及び変更後の信号、並びに第5の実施形態に係る配線レイアウト設計装置によるレイアウト補正前及び補正後の信号を各々示すタイミングチャート図である。

【図9】(a)はレイアウト補正前の回路及びバスのドライブ方法変更前に使用する回路を、(b)は本発明の第3の実施形態に係る配線レイアウト設計方法又は設計装置によるレイアウト補正後の回路を、(c)は本発明の第4の実施形態に係るバスのドライブ方法において使用する回路を各々示す回路図である。

【図10】本発明の第5の実施形態に係る配線レイアウト設計装置の概略を示す構成図である。

【符号の説明】

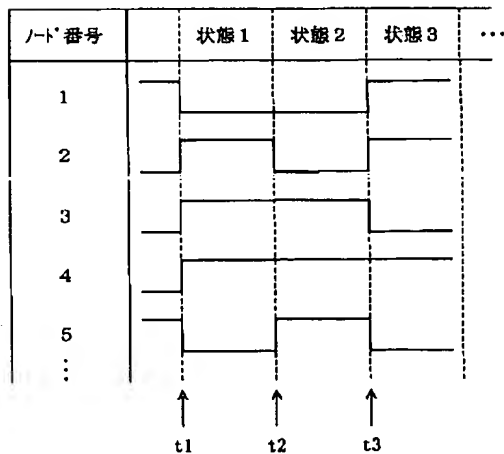
*

- *101 論理回路
- 102 論理値解析工程
- 103 配線選択工程
- 104 レイアウト補正工程（配線配置工程、素子追加工程）
- 201 レイアウト合成手段（配線仮配置手段）
- 202 レイアウト解析手段
- 203 論理値解析手段
- 204 配線選択手段
- 205 レイアウト補正手段（配線配置手段）
- LCRCT レイアウト補正情報
- LOUTD 最終レイアウトデータ
- LTEMP 仮レイアウトデータ
- NLIST ネットリスト
- TVCTR テストベクタ

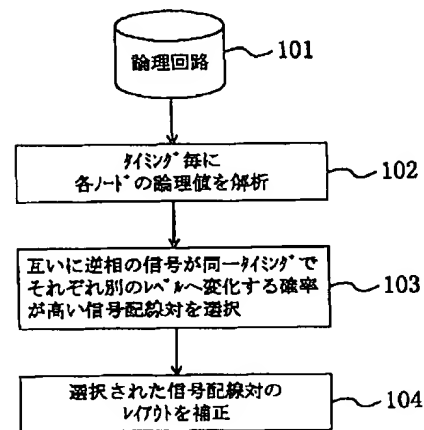
【図1】

変化のモード	信号の変化の例	見かけ上のカップリング容量
M1 同相→同相	a 0 → 1	Ca-b=Cb-a=0
M2 第1の逆相→第1の逆相 第2の逆相→第2の逆相	b 0 → 1	
M3 同相→逆相 逆相→同相	a 0 → 0 b 0 → 1	Ca-b=Cb-a=C
M4 第1の逆相→第2の逆相 第2の逆相→第1の逆相	a 0 → 1 b 1 → 0	Ca-b=Cb-a=2C

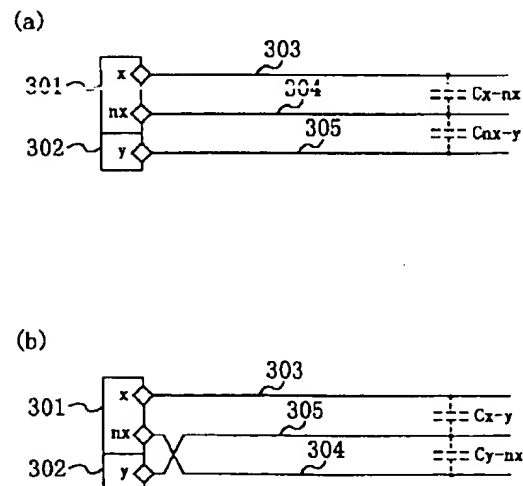
【図3】



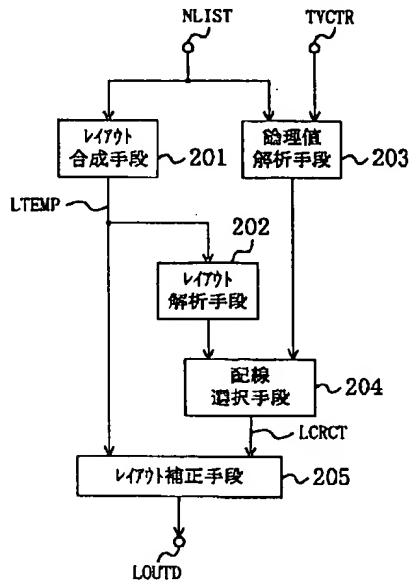
【図2】



【図5】



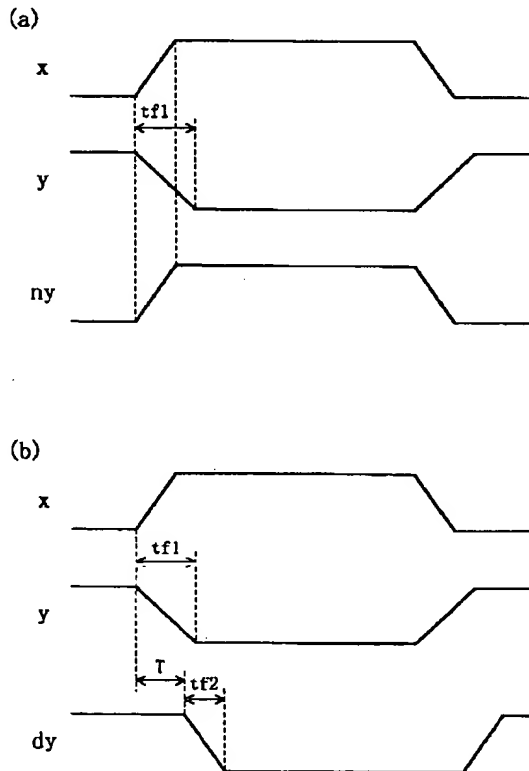
【図4】



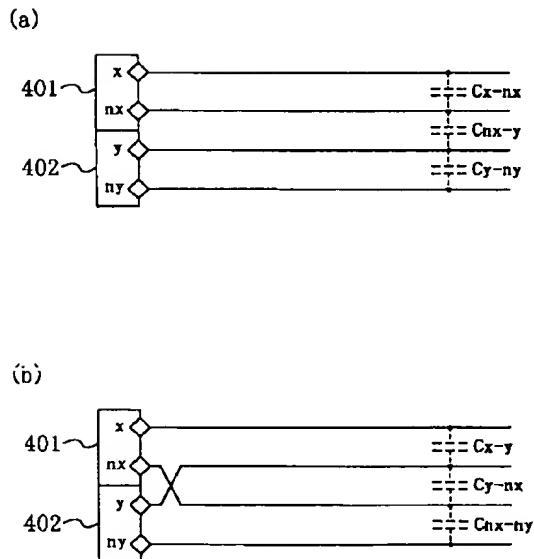
【図6】

レイト補正前の 変化のモード	信号の変化	見かけ上の増減容量 ()内は計	
		レイト補正前 【図5(a)】	レイト補正後 【図5(b)】
M4	x 0 → 1	Cx-nx=2C	Cx-y=0
-----	nx 1 → 0	(4C)	(2C)
M4	y 0 → 1		
M4	x 0 → 1	Cx-nx=2C	Cx-y=2C
-----	nx 1 → 0	(2C)	(2C)
M1	y 1 → 0		
M4	x 0 → 1	Cx-nx=2C	Cx-y=C
-----	nx 1 → 0	(3C)	(2C)
M3	y 1 → 1		
M2	x 0 → 0	Cx-nx=0	Cx-y=C
-----	nx 1 → 1	(C)	(2C)
M3	y 1 → 0		

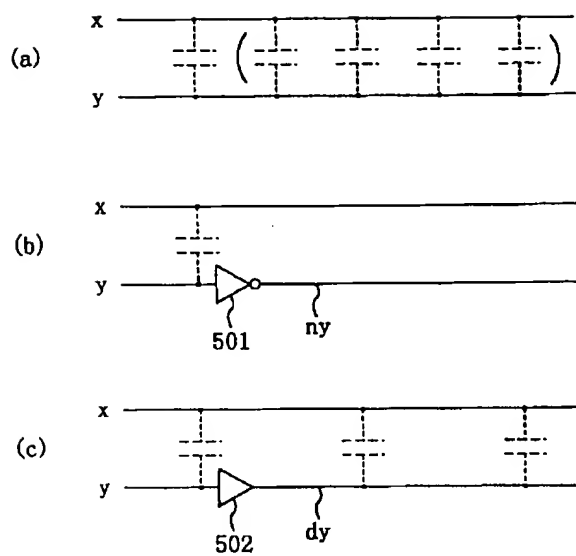
【図8】



【図7】



【図9】



【図10】

